

宁芜北部脉状铜矿床地质与成矿流体特征研究

周小栋^{1,2} 郭坤一¹ 陈国光¹ 曾 勇¹ 宋世明¹ 申金超¹

(1.南京地质矿产研究所,江苏南京 210016;2.合肥工业大学资源与环境工程学院,安徽合肥 230009)

摘要:宁芜北部地区分布众多热液成因的脉状铜矿床。本文对区内的谷里铜矿和南门头铜矿进行了流体包裹体研究,结果表明,二者石英-金属硫化物期石英的流体包裹体均一温度分别为 202.9~299.4℃、166.7~355.4℃;盐度分别为 4.5 wt% NaCl eqv.~11.1 wt% NaCl eqv.、3.5 wt% NaCl eqv.~12.0 wt% NaCl eqv.;密度分别为 0.75~1.01 g/cm³、0.80~0.89 g/cm³;估算二者的成矿压力和深度分别为 18.2~30.4 MPa、0.69~1.15 km 和 12.8~35.1 MPa、0.48~1.32 km。谷里和南门头铜矿(体)成矿流体均具有中低盐度、低密度和浅成条件等共同点,但前者为中温流体,后者为中高-中低温流体。激光拉曼光谱分析显示二者的包裹体气相组成有明显区别,南门头的包裹体气相成分组合为 H₂O+CO₂±N₂,而谷里铜矿包裹体气相组分仅见 H₂O。结合矿床地质特征,如矿物组合、赋矿围岩、矿化蚀变、成矿岩体等方面的差异,推测宁芜北部可能存在两期铜成矿,早期与大王山旋回的辉石闪长玢岩有关(以谷里铜矿为代表);晚期与姑山—娘娘山旋回的花岗岩类有关(以南门头为代表)。

关键词:脉状铜矿;流体包裹体;谷里;南门头;宁芜北部

中图分类号: P618.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1622-12

1 前 言

宁芜盆地是长江中下游地区重要的中生代陆相火山岩盆地之一,以发育著名的“玢岩铁矿”为其重要特征^[1-2]。然而,在整个宁芜地区尤其是北部地区亦分布着一系列与火山-岩浆侵入作用有关的热液型脉状铜(金)矿床,其规模多为中小型矿床或矿(化)点,根据矿床地质特征可分为两类:一类为中低温热液充填型铜矿;另一类为中温热液细脉浸染型铜矿^[3]。但对此类矿床的成矿流体特征、矿床成因等还未有系统的研究。

近年来,随着地质大调查的不断深入,在宁芜北部南门头地区(以下称南门头)的深部勘查中也发现了脉状或细脉浸染状的铜矿体,表明在本地区深部仍然有寻找此类型铜矿床的潜力。本文以区内的谷里铜矿和新发现的南门头铜矿为研究对象,通过野

外地质调查和室内研究,对比研究矿床地质特征和成矿流体特征,并浅析成因。

2 区域地质特征

宁芜盆地位于南京(宁)—芜湖(芜)之间,呈 NNE-SSW 向展布,长约 60 km,宽约 20 km,火山岩出露面积约 1 200 km²。盆地东、西、南、北分别受方山—小丹阳断裂、长江深大断裂带、芜湖断裂和南京—湖熟断裂控制(图 1)。宁芜盆地位于扬子板块的北缘,郟庐断裂带的东侧,靠近扬子板块和华北板块的拼合带,是一个在下扬子褶皱带基础上发育起来的继承式陆相火山岩盆地^[1-2]。

盆地内出露的沉积岩地层有上三叠统黄马青组、下侏罗统象山群和上侏罗统西横山组,另有少量上白垩统浦口组及古近纪、新近纪的砂砾岩。火山岩地层主要为中生代燕山期形成的大量橄榄安粗岩系

收稿日期:2012-11-29;改回日期:2013-04-08

基金项目:中国地质调查局项目“长江中下游地区深部矿勘查方法技术示范”(1212011120854)资助。

作者简介:周小栋,男,1987年生,硕士生,主要从事矿床学与矿产勘查学研究;E-mail:zhouxd4304@163.com。

①江苏地质矿产局第一地质大队,江宁县幅、江宁县幅(西)、慈湖幅、柘塘幅(西)、小丹阳幅(北 1/3)1:5 万区域地质调查报告[R]. 1986:20-35.

组合,由老至新依次为龙王山组(约占 20%)、大王山组(约占 75%)、姑山和娘娘山组,各组之间均为喷发不整合接触,构成四个火山岩喷发旋回^[1-24]。龙王山组下段主要由浅灰-紫灰色的安山质火山角砾岩、安山质凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质砂岩等组成;上段以熔岩为主,主要为歪长粗面岩、橄榄安粗岩和角闪石安粗岩,夹火山角砾岩。大王山组下段以辉石安粗岩为主,夹一些火山集块岩、角砾岩、凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩;中段为紫红色的安山岩,局部见有凝灰质粉砂岩透镜体;上段主要为灰红色、浅灰色粗面岩和粗面质熔结凝灰岩。姑山组分布范围较小,上段为灰黑色安山岩和英安岩夹凝灰质粉砂岩、沉凝灰岩;下段为安山质火山碎屑岩和沉积岩。娘娘山组仅见于盆地西侧的娘娘山一带,下段以粗面质火山碎屑岩为主,局部见假白榴石响岩透镜体;上段主要为黝方石响岩夹响岩质熔结凝灰岩、粗面质含角砾熔结凝灰岩和粗面岩等^[1,4]。

区内的构造运动以燕山期最为重要,以大规模断陷、火山喷发和岩浆侵入为特征,并形成了一系列多期次的深大断裂,构造方向主要为 NNE、NW 和近 EW 向,在空间分布上具有近似等距的网格状格局(图 1)。盆地内火山-岩浆侵入活动主要沿 NNE 向展布,其中心多位于 NNE 向基底断裂与 NW 和近 EW 向断裂的交汇部位^[1]。区内主要侵入岩有两类:辉长-闪长岩类,呈带状分布,主要受区内 NNE 和 EW 向断裂控制,与区内玢岩铁矿成因有密切关系^[15-11];花岗岩类主要分布在盆地中北部,受 NNE 向安德门-娘娘山断裂控制,岩性组合为石英正长-二长岩、文象花岗岩、黑云母花岗岩及花岗斑岩等^[1,9](图 1)。

3 矿床地质特征

3.1 谷里铜矿地质特征

谷里铜矿位于宁芜火山岩盆地北部,谷里镇东部金牛洞、大铜山和小铜山一带(图 2),为一小型的热液型脉状铜矿。矿区内出露数个面积不等的大王山旋回次火山岩体,岩性为辉石闪长玢岩,仅在局部出露大王山组安山质火山岩地层。铜矿体产于辉石闪长玢岩中,受 NE、NEE 向断裂控制。

矿体呈脉状充填于辉石闪长玢岩的裂隙中,走向 NE30°~60°,倾向 NW,倾角 45°~75°。矿脉长度不等,最长可达 320 m;矿脉厚度变化较大,为 0.37~7.43 m。

谷里铜矿工业矿体主要赋存在-5 m 至-150 m 之间。

矿石矿物以黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿等为主(图 3-A,B);脉石矿物主要有黄铁矿、石英、方解石、绿泥石等。主要矿物组合为黄铜矿-黄铁矿-石英(图 3-A),其中石英分为无色透明和紫色两种。矿石中金属硫化物多呈自形-他形粒状结构,亦可见镶嵌、包含(图 3-B,C)和充填结构等;主要为粗大脉状、浸染状(图 3-A)、不规则状、蜂窝状和晶洞状构造等。围岩蚀变较强,主要有强绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化、高岭土化、硅化等,呈线状分布在矿体的上下盘。矿体主要产在强绿泥石化的岩体中,黄铜矿多与黄铁矿化相关。

矿石中铜主要以黄铜矿的形式产于石英-黄铁矿脉中,呈亮黄铜色,半自形-他形粒状(图 3-C)、条带状(图 3-B)、乳滴状等,与黄铁矿呈镶嵌结构。经电子探针分析显示,黄铜矿中铜含量为 34.200%~34.796%,其中 Cu、Fe、S 的含量接近理论值,此外还含有一定量的 Pb、Zn 和 Co,几乎不含 As、Bi、Sb,其中镜下呈金黄色的黄铜矿中 Au 和 Ag 含量较高(表 1)。矿石中黄铁矿呈黄色,自形粒状(图 3-C)。电子探针分析显示,黄铁矿中铁含量为 46.354%~46.726%,平均为 46.548%;硫含量 52.681%~53.413%,平均为 53.012%,其中 Fe 元素与理论值一致,S 元素略显亏损。黄铁矿中 Pb 含量较高,平均达 0.278%;Co 平均 0.152%;Se 含量在 0.002%~0.039%,S/Se 比值变化较大,为 1 356~26 341。

3.2 南门头铜矿地质特征

南门头铜矿是近年来,在宁芜北部南门头地区深部矿勘查中,ZK4001 和 ZK4331 钻孔中发现的热液型脉状铜矿。勘查区多为第四系覆盖,仅在矿区西部出露少量姑山组安山质火山碎屑岩,东部出露大王山组安山质火山岩;此外,大王山旋回辉石闪长玢岩、闪长玢岩和安山玢岩呈小岩脉、岩株状零星出露(图 2)。铜矿体产于大王山组安山质火山岩中,受区域性的 NE 向断裂 F1(图 1)控制,NW 向的次级断裂 F3(图 1)控制了矿体的产状。在矿体下部(-1 000 m~-1 300 m)见石英二长-正长岩侵入到大王山组火山岩中,在岩体与围岩接触带处见黄铜矿、黄铁矿脉。岩体内部黄铁矿化、黄铜矿化较强,且矿化多发生在岩体内捕虏体的边部。

矿体主要产于大王山组安山质火山岩的构造裂隙中,可划分为三个矿体: I 号矿体见于钻孔

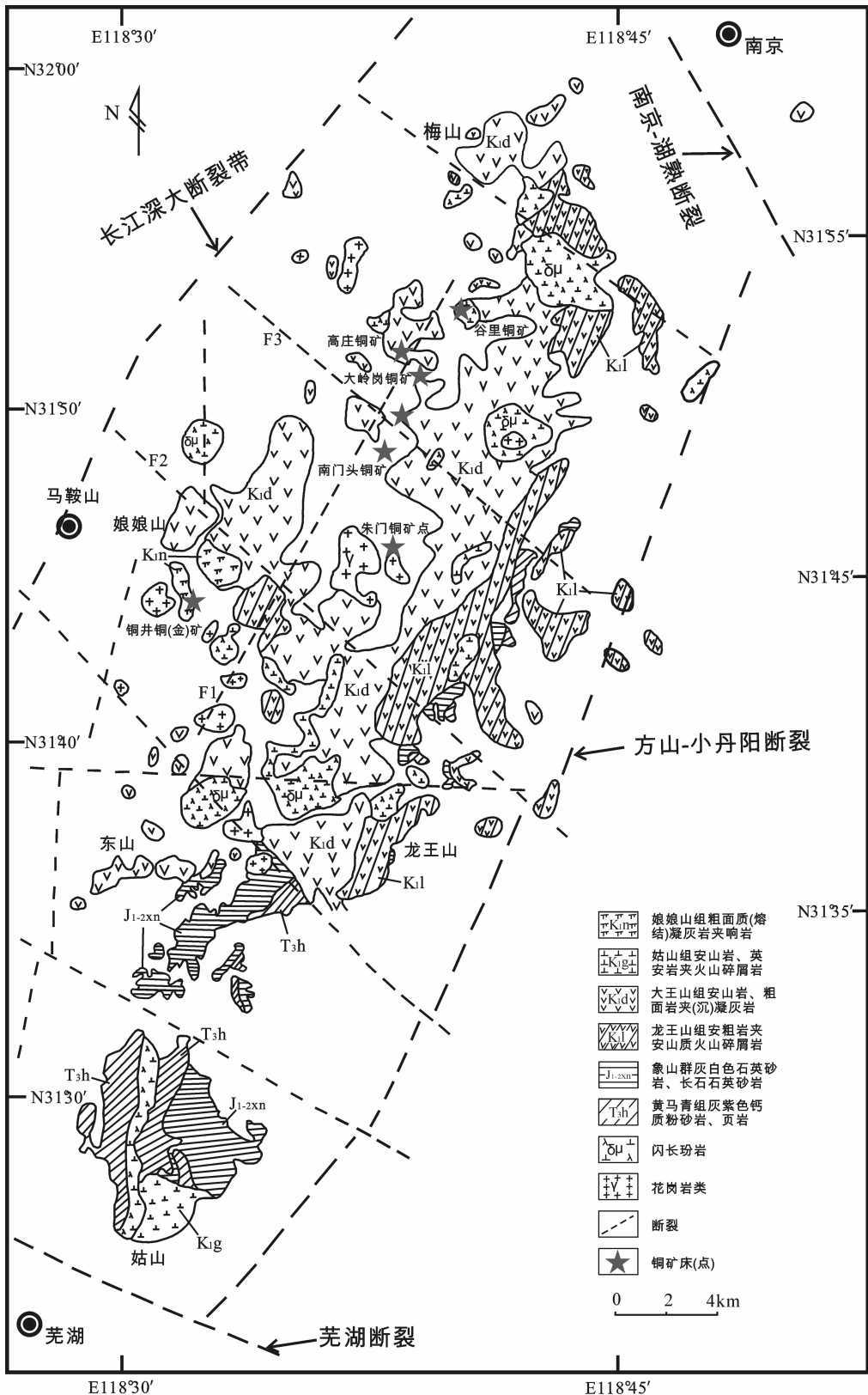


图 1 宁芜地区地质矿产简图(据文献[1]修改)

Fig.1 Geological sketch map of Ningwu area, showing distribution of mineral resources(modified after Reference [1])

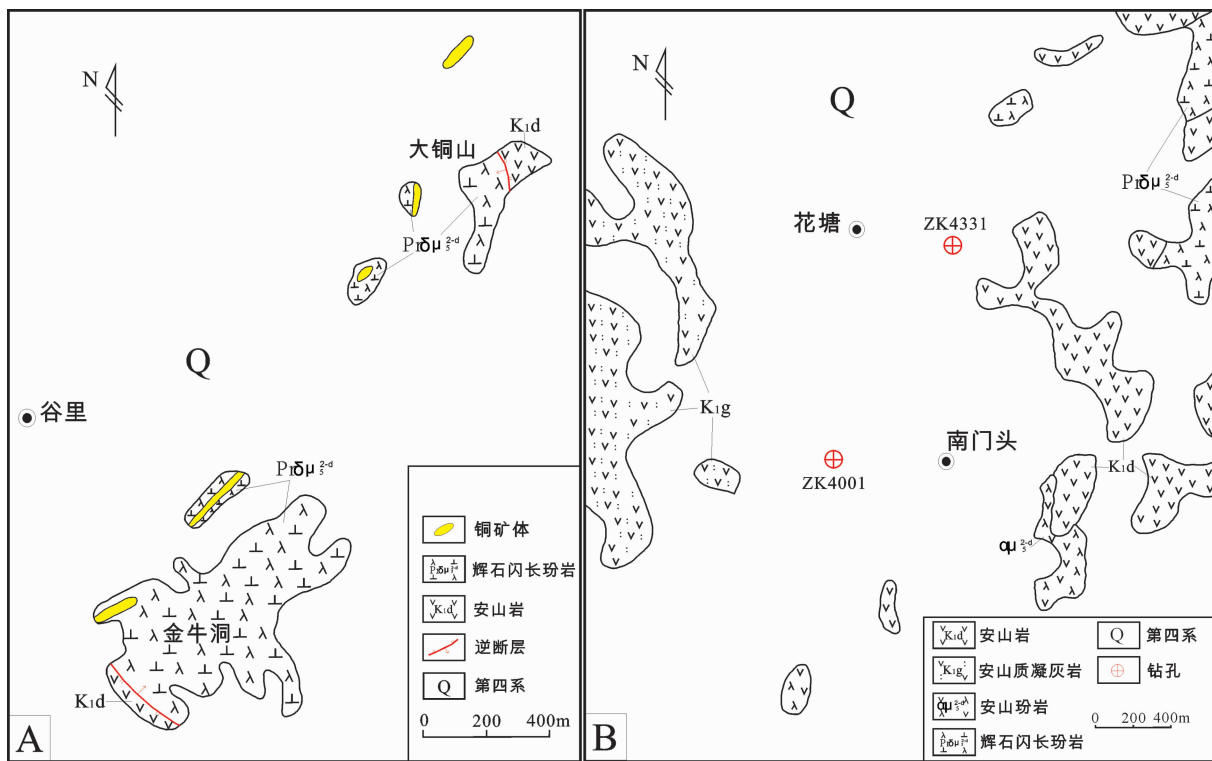


图 2 A—谷里地区地质简图;B—南门头地区地质简图(据资料^①改编)

Fig.2 A—Geological sketch map of Guli area;B—Geological sketch map of Nanmentou area(modified after Reference ^①)

表 1 谷里铜矿床金属矿物电子探针分析结果(wB/%)

Table 1 Electron microprobe analyses of metallic minerals in the Guli Cu deposit(wB/%)

矿物	Se	As	Pb	Bi	Zn	Fe	S	Cu	Ag	Sb	Co	Au	Total
黄铁矿	0.004	-	0.221	-	-	46.354	53.064	0.006	-	-	0.313	-	99.962
黄铁矿	0.039	0.006	-	-	0.025	46.640	52.889	-	0.035	-	0.116	0.027	99.777
黄铁矿	0.024	0.025	0.389	-	-	46.473	53.413	-	-	-	0.056	0.030	100.41
黄铁矿	0.002	0.023	0.225	-	0.032	46.726	52.681	-	-	0.032	0.122	0.008	99.851
黄铜矿	0.046	-	0.031	0.006	-	30.045	34.916	34.422	0.017	0.008	0.049	-	99.540
黄铜矿	-	-	0.177	-	0.017	30.391	34.261	34.200	0.057	-	0.063	0.055	99.221
黄铜矿	-	0.040	0.066	-	0.045	30.067	34.711	34.796	0.050	-	0.065	-	99.840
黄铜矿	0.023	-	0.198	0.003	0.057	30.348	34.350	34.560	0.001	-	0.029	0.007	99.576

注:中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室测试;仪型号 JEOL JXA8800R,电压 20 kV,电流 20 nA,束斑直径为 1 μm,分析精度为 0.001%;“-”表示未检出。

ZK4331,产出深度自-471.44 m至-472.55 m,视厚度 1.11 m,Cu 品位达 5.440%,Ag 为 3.9 g/t;Ⅱ号矿体见于钻孔 ZK4001,自-954.06 m至-955.78 m,视厚度 1.72 m,Cu 品位为 0.518%;Ⅲ号矿体见于钻孔 ZK4001,产出深度自-1107.88 m至-1108.64 m,视

厚度约 0.76 m,Cu 品位为 0.676%。

主要的矿石矿物有黄铜矿、辉铜矿、镜铁矿等;脉石矿物有石英、黄铁矿、方解石、重晶石等。主要矿物组合为黄铜矿-镜铁矿-黄铁矿-石英(图 3-D)。矿石主要呈自形-半自形粒状、包含、填隙等结构

①江苏地质矿产局第一地质大队,江宁镇幅、江宁县幅(西)、慈湖幅、柘塘幅(西)、小丹阳幅(北 1/3)1:5 万区域地质调查报告[R]. 1986:20-35.

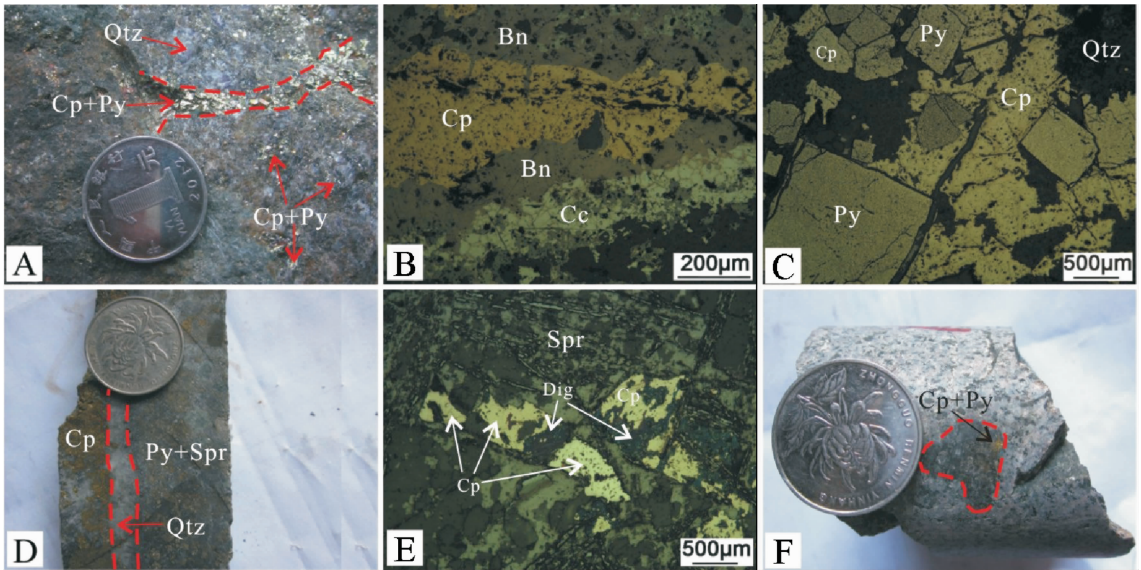


图3 谷里、南门头铜矿岩相学特征

A—谷里铜矿黄铜矿呈脉状、浸染状产出；B—谷里铜矿中条带状黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿呈镶嵌结构共生；C—谷里铜矿中他形粒状、片状黄铜矿与自形粒状黄铁矿呈镶嵌、包含结构；D—南门头铜矿脉状矿石，矿物分带明显；E—南门头铜矿半自形粒状黄铜矿、蓝辉铜矿镶嵌在针状镜铁矿的间隙内；F—南门头铜矿岩体内矿化发生在捕虏体的边部
Cp—黄铜矿；Py—黄铁矿；Qtz—石英；Bn—斑铜矿；Cc—辉铜矿；Spr—镜铁矿；Dig—蓝辉铜矿

Fig.3 Microphotographs showing ore geology of Guli and Nanmentou Cu deposits

A—Chalcopyrite veinlike and disseminated ores in the Guli Cu deposit; B—Banded chalcopyrite, bornite and chalcocite with mosaic texture in the Guli Cu deposit; C—Anhedral granular, bladed chalcopyrite and euhedral granular pyrite with mosaic and poikilitic textures in the Guli Cu deposit; D—Veined ore of the Nanmentou Cu deposit, with clear mineral zoning; E—Subhedral granular chalcopyrite, digenite mosaicked in fissures of acicular specularite in the Nanmentou Cu deposit; F—Mineralization along the boundary of xenoliths inside intrusions of the Nanmentou Cu deposits

Cp—Chalcopyrite; Py—Pyrite; Qtz—Quartz; Bn—Bornite; Cc—Chalcocite; Spr—Specularite; Dig—Digenite

(图3-E);呈大脉状或细脉浸染状构造,其中前者与围岩界线明显,后者与围岩界线不清。脉状矿体中矿物分带明显,由外向内依次为黄铁矿、镜铁矿-石英-黄铜矿(图3-D),可能代表了金属矿物的形成顺序。细脉浸染状矿体则未见明显分带现象,各种矿物呈包含、填隙结构共生。围岩蚀变主要为绿泥石化、黄铁矿化、钾化、硅化和碳酸盐化等。

主要的矿石矿物为黄铜矿,呈黄铜黄色,半自形-他形细粒状,呈网状、团块状集合体充填于裂隙中,与镜铁矿、黄铁矿、石英等矿物共生。矿化岩体中的黄铜矿、黄铁矿,呈半自形粒状,浸染状或团块状产在岩体中的捕虏体的边部(图3-F)。对矿体和矿化岩体中的黄铜矿进行电子探针分析,结果显示二者Cu、Fe、S含量基本一致,均接近于理论值;且都含有少量Ag、Pb、Zn;矿体中黄铜矿中含有Se、Au和Bi,而矿化岩体中的黄铜矿未检出这三种元素。对二者黄铁矿进行电子探针分析显示:Fe、S含量

接近理论值,均含有Pb、Zn、Co,其中矿体中的黄铁矿中Pb含量可达0.396%;不同的是矿体中的黄铁矿Cu元素含量较高,最高可达0.100%,而矿化岩体中的黄铁矿几乎不含有铜。

4 成矿流体特征

4.1 样品和测试方法

本次用于流体包裹体研究的样品分别采自谷里铜矿金牛洞矿段和南门头铜矿,所采样品均为主成矿期;石英-金属硫化物期中的石英。将样品磨制成双面抛光的薄片,在镜下进行岩相学观察,区分原生和次生包裹体,并划分原生包裹体的类型,挑选了有代表性的原生包裹体进行显微测温 and 激光拉曼分析。

流体包裹体的显微测温和激光拉曼光谱分析均在中国科学院地质与地球物理研究所流体包裹体研究实验室完成。测温所用仪器为英国Linkam科仪公司的THMSG600冷热台和Q500MC图象处理系

表 2 南门头铜矿金属矿物电子探针分析结果 (%)

Table 2 Electron microprobe analyses of metallic minerals in the Nanmentou Cu deposit (%)

采样位置	矿物	Se	As	Pb	Bi	Zn	Fe	S	Cu	Ag	Sb	Co	Au	Total
I 号矿体	黄铁矿	-	-	0.069	-	0.012	46.487	52.563	0.100	0.035	-	0.107	0.105	99.478
I 号矿体	黄铁矿	-	-	0.043	-	0.035	46.345	53.342	-	-	-	0.068	-	99.833
II 号矿体	黄铁矿	-	0.056	0.134	0.051	0.011	46.271	52.831	0.026	-	0.005	0.089	-	99.474
II 号矿体	黄铁矿	-	-	0.396	-	0.012	46.101	52.646	0.035	-	0.011	0.149	0.022	99.372
矿化岩体	黄铁矿	-	0.026	0.335	-	0.019	46.072	52.824	-	-	-	0.085	-	99.361
矿化岩体	黄铁矿	0.002	0.026	0.157	-	-	46.191	53.134	0.008	-	-	0.114	0.021	99.653
I 号矿体	黄铜矿	0.004	-	0.003	0.031	0.007	29.708	35.122	34.616	0.059	-	0.054	0.030	99.634
II 号矿体	黄铜矿	0.008	-	0.121	-	-	30.070	34.512	34.235	0.010	-	0.058	-	99.014
II 号矿体	黄铜矿	0.052	-	-	-	0.023	30.032	34.526	34.698	0.027	-	0.061	0.005	99.424
矿化岩体	黄铜矿	-	-	-	-	0.028	30.421	34.668	34.138	0.018	-	0.053	-	99.326
矿化岩体	黄铜矿	-	-	0.167	-	0.080	29.960	34.651	34.558	0.008	-	0.054	-	99.478

注:中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室测试;仪器型号为 JEOL JXA8800R,电压 20 kV,电流 20 nA,束斑直径为 1 μm ,分析精度为 0.001%;“-”表示未检出。

统。其中 THMSG600 冷热台的分析精度为 0.1 $^{\circ}\text{C}$,温度控制范围为 -196 $^{\circ}\text{C}$ ~600 $^{\circ}\text{C}$,冷冻/加热速率从 0.01 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ~130 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。拉曼分析仪器是英国 Ranishaw 公司生产的 Raman 2000 型激光拉曼光谱仪,激光功率 20 mW,激发波长 514 nm,激光最小束斑 1 μm ,光谱分辨率为 1~2 cm^{-1} 。

4.2 流体包裹体岩相学特征

南门头铜矿石英中原生包裹体不甚发育,多随机分布。包裹体类型单一,多为富液相包裹体,偶见富气相包裹体和纯液相包裹体,未见含子矿物的包裹体和富 CO_2 的三相包裹体。富液相包裹体呈近椭圆状或不规则状(图 4-A,B),少数呈长条状(图 4-C,D),大小在 2~10 μm ,个别可达 12 μm 以上,气液百分比在 15%~40%。富气相包裹体多呈椭圆状(图 4-E),气泡颜色较深,气液百分比可达 50%~60%,大小一般为 3~7 μm 。纯液相包裹体呈柱状(图 4-F),颜色较浅,大小为 5~12 μm 。石英中的次生包裹体发育广泛,呈线状分布,多小于 2 μm ,颜色较浅,表明了有后期的热液作用。

谷里铜矿石英中原生包裹体非常发育,无规律分布。包裹体类型简单,仅见富液相包裹体。包裹体形态多为规则状和近椭圆状(图 4-G,H),少数呈长条状,大小多在 4~14 μm ,个别可达 15 μm ,气泡颜色较深,气液百分比变化较大,在 10%~40%。次生包裹体发育较广泛,呈线状或带状定向分布,个体较

小,绝大多数小于 3 μm 。

4.3 流体包裹体热力学特征

4.3.1 均一温度(Th)和冰点

显微测温对象为南门头、谷里铜矿床主成矿期石英中的原生包裹体,包裹体类型主要为气液二相包裹体,无含液态 CO_2 的三相包裹体和含子矿物的包裹体,因此只测得了包裹体的冰点和均一温度。

在显微测温工作中,部分包裹体个体太小或者气液边界较模糊导致冰点无法准确测定,这一部分包裹体只测定了均一温度。南门头和谷里铜矿床(体)石英包裹体的显微测温结果见表 3 和图 5。南门头铜矿中石英流体包裹体的均一温度范围为:166.7 $^{\circ}\text{C}$ ~355.4 $^{\circ}\text{C}$,峰值为 200 $^{\circ}\text{C}$ ~270 $^{\circ}\text{C}$ 、320 $^{\circ}\text{C}$ ~340 $^{\circ}\text{C}$,为中高一中低温流体;谷里铜矿中石英流体包裹体的均一温度范围为 202.9 $^{\circ}\text{C}$ ~299.4 $^{\circ}\text{C}$,峰值为 200 $^{\circ}\text{C}$ ~250 $^{\circ}\text{C}$,为中温流体;南门头和谷里铜矿包裹体的冰点范围分别为 -8.3 $^{\circ}\text{C}$ ~-1.9 $^{\circ}\text{C}$ 、-7.5 $^{\circ}\text{C}$ ~-2.7 $^{\circ}\text{C}$ (表 3)。

4.3.2 盐度、密度、压力及深度估算

由 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系中盐度-冰点关系式^[12-13]:

$$\omega_{(\text{NaCl})}(\text{wt}\% \text{ NaCl eqv.})=0.00+1.78\theta-0.0442\theta^2+0.000557\theta^3$$

(式中 $\omega_{(\text{NaCl})}(\text{wt}\% \text{ NaCl eqv.})$ 为盐度, θ 为冰点下降温度绝对值)

计算得出南门头和谷里铜矿成矿流体盐度范围

表3 谷里、南门头铜矿石英包裹体显微测温结果

Table 3 Thermometric results of fluid inclusions in quartz of mineralized veins from Guli and Nanmentou Cu deposits

样品号	采样位置	大小/ μm	气液百分比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$		完全均一方向	冰点温度/ $^{\circ}\text{C}$		盐度/(wt% NaCl eqv.)	
				范围	均值(个数)		范围	均值(个数)	范围	均值(个数)
CZK4001-1A	南门头II号矿体	3~11	25~40	235.2~293.7	262.5 (24)	L	-7.1~-2.1	-4.7(11)	3.5~10.6	7.4 (11)
				278.3~287.5	283.4 (3)		V	-	-	-
CZK4001-1B	南门头II号矿体	2~10	20~35	179.1~332.9	261.4 (37)	L	-8.3~-2.3	-4.8(13)	3.9~12.0	7.5 (13)
CZK4001-2	南门头II号矿体	3~9	15~30	217.9~355.4	283.3 (13)	L	-	-	-	-
CZK4331-1	南门头I号矿体	2~13	20~30	166.8~293.1	230.6 (11)	L	-6.7~-1.9	-3.7(11)	3.2~10.1	5.9 (11)
CZK4331-2	南门头I号矿体	3~12	15~35	166.7~289.3	218.7 (22)	L	-7.9~-3.4	-6.1(14)	5.6~11.6	9.3 (14)
CZK4331-3	南门头I号矿体	3~20	20~35	174.6~302.5	224.3 (36)	L	-5.4~-2.1	-3.7(22)	3.5~8.4	6.1 (22)
CGLB-1	谷里铜矿金牛洞矿段	4~9	10~40	202.9~299.4	233.2 (19)	L	-7.5~-2.7	-4.9(6)	4.5~11.1	7.7 (6)
CGLB-2	谷里铜矿金牛洞矿段	5~15	10~30	208.5~247.8	229.2(13)	L	-6.3~-2.5	-4.3(11)	5.7~9.6	6.9 (11)

注：“-”为未测得数据；括号内数字为测试数目。

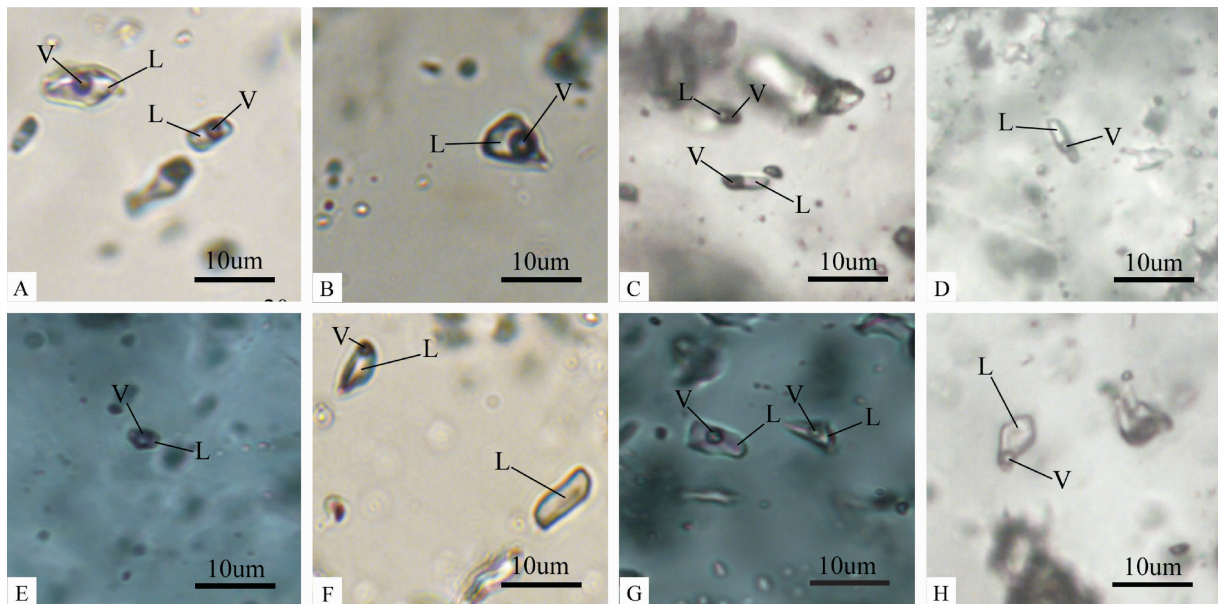


图4 谷里、南门头铜矿石英—金属硫化物期石英中流体包裹体

A、B—南门头铜矿中近椭圆、不规则状富液相包裹体；C、D—南门头铜矿中长条状包裹体；E—南门头铜矿中富气相包裹体；F—南门头铜矿纯液相包裹体；G、H—谷里铜矿中规则状富液相包裹体；L—液相；V—气相

Fig.4 Fluid inclusions in quartz of the quartz-metal-sulfide stage from Guli and Nanmentou Cu deposits

A, B—Elliptical and irregular liquid-rich inclusions in the Nanmentou Cu deposit; C, D—Striped liquid-rich inclusions in the Nanmentou Cu deposit; E—Elliptical gas-rich inclusions in the Nanmentou Cu deposit; F—Liquid inclusions in the Nanmentou Cu deposit; G, H—Regular liquid-rich inclusions in the Guli Cu deposit; L—Liquid; V—Vapor

分别为3.5%~12.0%和4.5%~11.1%(表3), 峰值区间为5%~8%、6%~9%(图5), 均属于中低盐度流体。

此外,由温度-盐度-密度相图^[14]计算得到谷里和南门头铜矿床(体)流体密度范围分别为0.75~1.01g/cm³和0.80~0.89g/cm³(图6),均属于低密度流体。

本文所测包裹体无含子晶的包裹体和液态

CO₂的三相包裹体,均为气液两相包裹体,可根据流体压力 $P(10^5\text{ Pa})$ 计算公式^[15]:

$$P=P_0T_h/T_0$$

式中: $P_0=219+2620W$, $T_0=374+920W$, W 为盐度; T_h 为均一温度。

计算得南门头铜矿成矿压力范围为12.8~35.1 MPa, 均值为22.0 MPa; 谷里铜矿成矿压力范围为

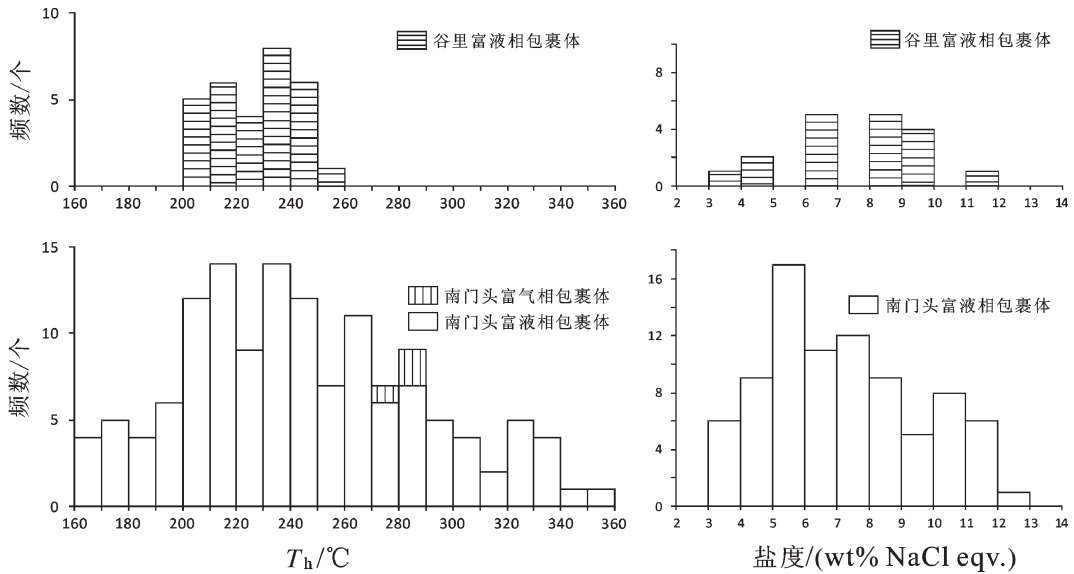


图 5 谷里、南门头铜矿流体包裹体完全均一温度与盐度直方图

Fig.5 Histogram of homogenization temperatures and corresponding salinities of fluid inclusions in quartz from Guli and Nanmentou Cu deposits

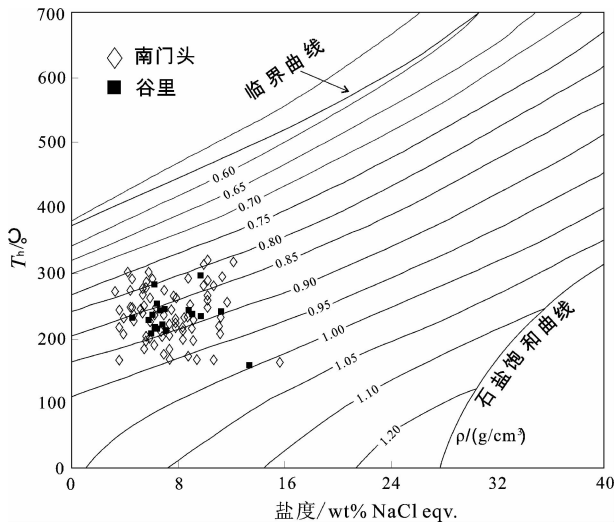


图 6 谷里、南门头铜矿均一温度—盐度—密度相图(底图据文献[14])

Fig.6 Phase diagram of homogenization temperature—salinity—density of Guli and Nanmentou Cu deposits (base map after [14])

18.2~30.4 MPa,均值为 22.2 MPa,二者的成矿压力范围和均值基本一致;由于在近地表的上地壳环境下地压梯度可近似看作静岩压力梯度,参照上地壳的平均地压梯度 0.0 265 GPa/km [16],可应用成矿深度计算公式[15]:

$H=P/0.03$,其中 H 为成矿深度(km), P 为成矿压力(GPa)。

估算得到南门头成矿深度为 0.48~1.32 km,与矿体实际的产出深度范围很接近;估算谷里铜矿成矿深度范围为 0.69~1.15 km,比矿体实际的产出深度偏大,二者成矿皆属于浅成条件下。

4.4 激光拉曼光谱分析

对不同类型包裹体的气相组成进行激光拉曼分析,结果表明:南门头铜矿富液相包裹体的气相成分主要是 H_2O ,只有少数气液百分较大(大于 40%)的包裹体中有 CO_2 (图 7-C);富气相包裹体的气相组成均含有 H_2O ,少数含 CO_2 和 N_2 (图 7-A,B)。在富气相包裹体中, CO_2 峰的强度要高于 N_2 的含量,暗示 CO_2 含量要多于 N_2 ,但从二者所占比重来看,两种气体的含量都很少,不适于计算其含量;谷里铜矿中包裹体气液百分比多小于 40%,对不同气液百分比的包裹体进行激光拉曼光谱分析,结果均仅显示 H_2O 的峰,说明其气相成分仅有 H_2O (图 7-D~F)。

南门头铜矿包裹体气相成分为 $H_2O+CO_2\pm N_2$ 组合,而谷里铜矿包裹体气相成分仅有 H_2O 。表明南门头铜矿的成矿流体气相成分较复杂,为 $H_2O+NaCl+CO_2\pm N_2$ 体系;而谷里铜矿成矿流体成分简单,为 $H_2O+NaCl$ 体系。

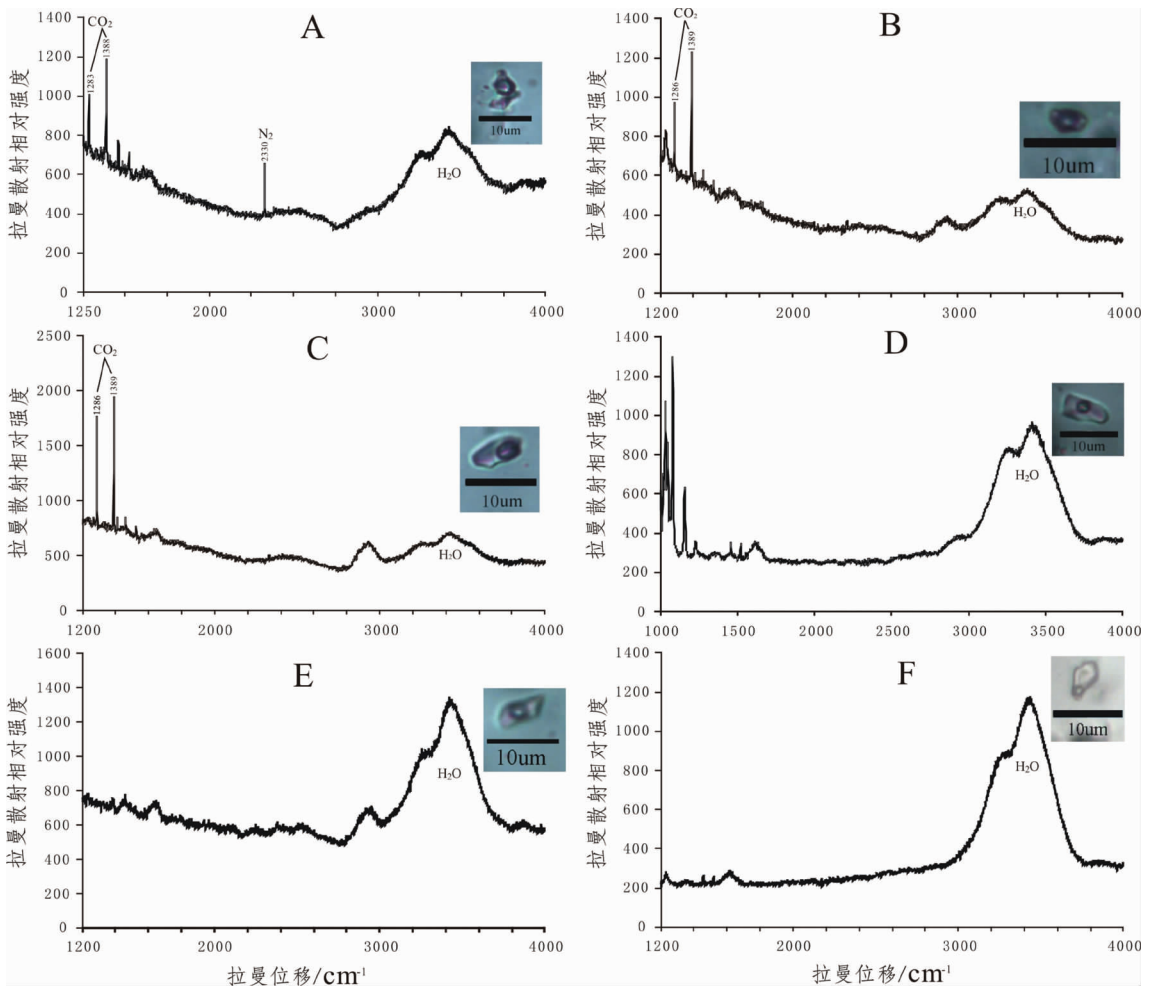


图7 谷里、南门头铜矿床石英包裹体激光拉曼光谱分析

A—南门头铜矿富气相包裹体中的 CO₂ 和 N₂; B—南门头铜矿富气相包裹体中的 CO₂; C—南门头铜矿富液相包裹体中的 CO₂; D、E、F—谷里铜矿不同气液百分比的包裹体气相成分中的 H₂O

Fig.7 Raman spectra for fluid inclusions in quartz from Guli and Nanmentou Cu deposits

A—CO₂ and N₂—spectra of gas-rich inclusions in the Nanmentou Cu deposit; B—CO₂—spectra of Gas-rich inclusions in the Nanmentou Cu deposit; C—CO₂—spectra of liquid-rich inclusions in the Nanmentou Cu deposit; D, E, F—H₂O—spectra of inclusions of different gas-liquid ratios in the Guli Cu deposit

5 讨论

南门头铜矿中包裹体均一温度变化较大, 166.7~355.4 °C的均一温度范围表明流体经历了一个降温过程, 在 220~270 °C和 320~340 °C多次出现波峰, 表明成矿流体可能有多期捕获事件。结合岩相学观察, 发现富气相包裹体均一温度较高(主要集中在 270~290 °C), 而富液相包裹体均一温度相对偏低(主要峰值集中在 200~270 °C), 这可能代表了成矿流体演化的趋势, 即成矿早期富气相的包裹体捕获温度较高, 随着温度降低, 气相成分分离和逃逸, 形

成捕获温度偏低的富液相包裹体。激光拉曼分析显示气液百分比比较大的包裹体, 气相成分为 H₂O+CO₂±N₂组合, 组成相对复杂, 而气液百分比比较小的包裹体多只含有 H₂O, 表明早阶段流体气相成分较晚阶段流体更复杂。同南门头相比, 谷里铜矿包裹体均一温度变化不大, 集中在 202.9~299.4 °C之间(峰值区间为 200~250 °C), 可能表示成矿流体的单期捕获事件。激光拉曼分析显示, 谷里铜矿包裹体气相成分仅有 H₂O, 表明成矿流体气相成分较单一。

在包裹体显微测温工作中, 南门头铜矿石英—金属硫化物期石英的富气相包裹体 (CZK4001-1A~V)

气液比较大,且包裹体较小,导致冰点温度无法准确测出;还有部分富液相包裹体(CZK4001-2~L)个体太小,气液边界较模糊,这部分包裹体也没有测出冰点温度,继而无法估算其盐度。由测出的冰点温度估算盐度结果可以看出,南门头和谷里铜矿床中成矿流体盐度范围变化都不大,分别为4.5%~11.1%、3.5%~12.0%,均为中低盐度流体,这与前人^[7-9]提出的岩浆热液流体演化到裂隙阶段静水压力条件下的盐水流体的盐度值相近。南门头和谷里铜矿成矿流体的密度变化范围较小,分别为0.80 g/cm³~0.89 g/cm³、0.75 g/cm³~1.01 g/cm³,均属于低密度流体;估算成矿压力近乎一致,均值分别为22.0 MPa、22.2 MPa,成矿深度分别在0.48~1.32 km、0.69~1.15 km,均属于浅成条件下。

对比谷里铜矿床与南门头铜矿地质特征,发现二者在控矿构造、矿石结构构造、围岩蚀变特征以及金属硫化物组成等方面相似,而在赋矿围岩及矿物组合等方面具有较大不同:谷里铜矿主要以脉状产于大王山旋回的辉石闪长玢岩中,而南门头铜矿体主要呈矿脉赋存于大王山组安山质火山岩、火山碎屑岩中;谷里铜矿的矿石矿物组合较南门头铜矿更复杂,铜元素主要以黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿等原生金属矿物,以及孔雀石、铜蓝等次生矿物形式产出,而南门头铜矿体主要矿石矿物为黄铜矿,主要产于石英-镜铁矿脉中。

最新研究表明,区内主要发育两期岩浆侵入活动,早期中基性的辉长-闪长岩体,成岩时代约130 Ma,介于大王山旋回和姑山旋回之间^[7-8],呈带状分布,受NNE和EW向两组断裂控制。晚期岩浆活动主要集中在126~130 Ma,与姑山-娘娘山旋回时代大致相当^[9-10],为一套花岗岩类,主要岩性组合为石英正长岩、石英二长岩、二长花岗岩等,受NE向安德门-娘娘山断裂(F1)控制。经钻探和物探工作证实,宁芜北部的花岗岩类在深部连成一个整体,沿NE向大致呈透镜状向两端俯没^[1]。推测区内热液型脉状铜矿床与这两期岩浆侵入有关,其中谷里铜矿直接产于大王山旋回的辉石闪长玢岩中,可能与此期中基性岩浆侵入有关;然而,区内多数铜矿(点)床围绕花岗岩类分布,除钻探揭露的南门头铜矿外,周边还有铜井铜(金)矿、大平山铜矿、大岭岗铜矿、高庄铜矿及朱门铜矿点等(图1)。南门头铜矿主要赋存于大王山组安山质火山岩中,在空间上与矿体深

部的花岗岩体无明显联系,但在岩体与火山岩接触带处及岩体内部均见不同程度的黄铜矿化,且岩体内部矿化多产在捕掳体边部,电子探针分析显示矿化岩体与矿体中的黄铜矿、黄铁矿在主量和微量元素组成方面很相似。结合前人研究成果^[11],推测南门头铜矿与晚期的花岗岩体存在成因联系,岩体可能为成矿作用提供了部分成矿物质及热源。

6 结论

(1) 南门头铜矿和谷里铜矿床包裹体均一温度范围分别为166.7~355.4 °C、202.9~299.4 °C,前者为中高一中低温流体,后者为中温流体;盐度范围分别为4.5%~11.1%、3.5%~12.0%,均为中低盐度;密度分别为0.80~0.89 g/cm³、0.75~1.01 g/cm³,均属于低密度流体;估算成矿压力近乎一致,均值分别为22.0 MPa、22.2 MPa,成矿深度分别在0.48~1.32 km、0.69~1.15 km之间,属于浅成条件下。

(2) 南门头和谷里铜矿床在控矿构造、矿石结构构造、围岩蚀变以及金属硫化物组成等方面都很相似,但在矿物组合、成矿岩体以及成矿流体特征等方面均有明显不同。

(3) 宁芜北部地区热液型脉状铜矿可分为两个成矿期:早期与大王山旋回中基性的辉石闪长玢岩有关,以谷里铜矿为代表;晚期与姑山-娘娘山旋回的花岗岩类有关,以南门头铜矿为代表。

参考文献(References):

- [1] 宁芜研究项目编写小组. 宁芜玢岩铁矿 [M]. 北京:地质出版社, 1978:1-196.
Ningwu Research Group. Magnetite Porphyrite Iron Deposits in Ningwu Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978:1-196 (in Chinese with English abstract).
- [2] 中国科学院地球化学研究所. 宁芜型铁矿床形成机理[M]. 北京:科学出版社, 1987:1-152.
Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Metallogenic Mechanism of Iron Deposits in Ningwu Area [M]. Beijing: Science Press, 1987:1-152 (in Chinese with English abstract).
- [3] 候龙海. 浅析宁芜北段铜矿地质特征、找矿前景与方向[J]. 地质学刊, 2008, 32(4):263-270.
Hou Longhai. On geological properties and exploration prospect of copper deposit in north block of Ningwu [J]. Journal of Geology, 2008, 32(4):263-270(in Chinese with English abstract).
- [4] 徐志刚, 盛继福, 孙善平. 关于“橄榄安粗岩系列(组合)”特征及某

- 些问题的讨论[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊):43-62.
- Xu Zhiqiang, Sheng Jifu, Sun Shanping. A discussion on characteristics of shoshonite rock series (association) and some problems[J]. Geological Review, 1999, 45(supp.):43-62(in Chinese with English abstract).
- [5] 毛建仁, 苏郁香, 陈三元, 等. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1990:1-191.
- Mao Jianren, Su Yuxiang, Chen Sanyuan, et al. Intermediate-acid Intrusions and Mineralization in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990:1-191 (in Chinese with English abstract).
- [6] 荆凤鸣. 宁芜地区中生代岩浆岩的成因——岩石学与 Nd、Sr、Pb 同位素证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(2):126-137.
- Xing Fengming. Petrological and Nd, Sr, Pb isotopic evidence for genesis of Mesozoic rocks in Nanjing-Wuhu area [J]. Acta Petrological et Mineralogica, 1996, 15(2):126-137 (in Chinese with English abstract).
- [7] Zhou T F, Fan Y, Yuan F, et al. Geochronology and significance of volcanic rocks in the Ning-Wu basin of China[J]. Science in China (Series D), 2011, 54(2):185-196.
- [8] 范裕, 周涛发, 袁峰, 等. 宁芜盆地闪长玢岩的形成时代及对成矿的指示意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(9):2715-2728.
- Fan Yu, Zhou Taofa, Yuan Feng, et al. Geochronology of the diorite porphyrites in Ning-Wu basin and their metallogenic significances[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(9):2715-2728 (in Chinese with English abstract).
- [9] 袁峰, 周涛发, 范裕, 等. 宁芜盆地花岗岩类的锆石 U-Pb 年龄、同位素特征及其意义[J]. 地质学报, 2011, 85(5):821-833.
- Yuan Feng, Zhou Taofa, Fan Yu, et al. Zircon U-Pb ages and isotopic characteristics of the granitoids in the Ningwu basin, China, and their significance[J]. Acta Geology Sinica, 2011, 85(5):821-833 (in Chinese with English abstract).
- [10] Duan C, Li Y H, Hou K J, et al. Late Mesozoic ore-forming event in the Ningwu ore district, Middle-Lower Yangtze River polymetallic ore belt, east China: Evidences from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions of the granodioritic stocks[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(3):719-736.
- [11] 段超, 李延河, 毛景文, 等. 宁芜火山盆地凹山铁矿床侵入岩锆石微量元素特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2012, 39(6):1874-1884.
- Duan Chao, Li Yanhe, Mao Jingwen, et al. Zircon trace element characteristics of intrusions in the Washan iron deposit of Ningwu volcanic basin and their geological significance [J]. Geology in China, 2012, 39(6):1874-1884(in Chinese with English abstract).
- [12] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions[J]. Econ. Geol., 1988, 83(1):197-202.
- [13] Bodnar R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(3):683-684.
- [14] Bodnar R J. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids [J]. Econ. Geol., 1983, 78(3):535-542.
- [15] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988:1-156.
- Shao Jielian. Prospecting Mineralogy of Gold Ore [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1988:1-156 (in Chinese with English abstract).
- [16] 胡宝群, 王方正, 孙占学, 等. 岩石圈中的地压梯度[J]. 地学前缘, 2003, 10(3):129-133.
- Hu Baoqun, Wang Fangzheng, Sun Zhanxue, et al. The pressure gradient in the lithosphere[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3):129-133(in Chinese with English abstract).
- [17] Fournier R O. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment[J]. Econ. Geol., 1999, 94(8):1193-1211.
- [18] Meinert L D, Hedenquist J W, Satoh H, et al. Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids[J]. Econ. Geol., 2003, 98(1):147-156.
- [19] Baker T, Achterberg E V, Ryan C G, et al. Composition and evolution of ore fluids in a magmatic-hydrothermal skarn deposit [J]. Geology, 2004, 32(2):117-120.

Geological and ore-forming fluid characteristics of vein type copper deposits in northern Ningwu area

ZHOU Xiao-dong^{1,2}, GUO Kun-yi¹,
CHEN Guo-guang¹, ZENG Yong¹, SONG Shi-ming¹, SHEN Jin-chao¹

(1. *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China*; 2. *School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China*)

Abstract: There exist many vein type copper deposits of hydrothermal origin in northern Ningwu area. The authors focused on ore-forming fluid inclusions of Guli and Nanmentou copper deposits in the study area. The results show that the homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz of the quartz-metal-sulfide stage range from 202.9 to 299.4°C for Guli, and from 166.7 to 355.4°C for Nanmentou; the salinities range from 4.5 to 11.1 wt% NaCl eqv. for Guli, and from 3.5 to 12.0 wt% NaCl eqv. for Nanmentou; the densities range from 0.75 to 1.01 g/cm³ for Guli, and from 0.80 to 0.89 g/cm³ for Nanmentou; the ore-forming pressures and depths range from 18.2 to 30.4 MPa and from 0.69 to 1.15 km for Guli, and from 12.8 to 35.1 MPa and from 0.48 to 1.32 km for Nanmentou respectively. These analytical data combined with data available suggest that the ore-forming hydrothermal fluids of Guli and Nanmentou copper deposits have similar characteristics of middle-low salinity, low density and low depth, but the former is of middle temperature, whereas the latter is of middle-high to middle-low temperature. Raman spectra analysis of fluid inclusions show that there are obvious differences in the gas phase composition. The gas phase composition is mainly H₂O + CO₂ ± N₂ in the fluid inclusions of Nanmentou, but only H₂O has been observed in the fluid inclusions of Guli. Combined with geological characteristics, such as the differences of mineral assemblages, the wall-rock mineralization alteration and ore-forming rock mass, the authors tentatively conclude that there might have existed two main copper metallogenic periods in northern Ningwu area: one was related to early magmatic segregation of diorite porphyrite in Dawangshan cycle (with the Guli copper deposit as the representative) and the other was correlated with granite in late Gushan cycle (represented by Nanmentou).

Key words: vein copper deposit; fluid inclusion; Guli; Nanmentou; northern Ningwu area

About the first author: ZHOU Xiao-dong, male, born in 1987, master candidate, engages in the study of mineral deposits and mineral exploration; E-mail: zhouxd4304@163.com.